

# BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

REC'D 15 AVR. 1997

WIPO PCT



PRIORITY DOCUMENT

## Bescheinigung

Die SCHERING AKTIENGESELLSCHAFT in Berlin/Deutschland hat  
eine Patentanmeldung unter der Bezeichnung

"Verfahren zur Herstellung von Epothilon A  
und B und Derivaten"

am 28. Oktober 1996 beim Deutschen Patentamt eingereicht.

Das angeheftete Stück ist eine richtige und genaue Wieder-  
gabe der ursprünglichen Unterlage dieser Patentanmeldung.

Die Anmeldung hat im Deutschen Patentamt vorläufig die  
Symbole C 07 D, C 07 F und C 07 C der Internationalen Pa-  
tentklassifikation erhalten.

14. 2. 1997

München, den 7. Februar 1997  
Der Präsident des Deutschen Patentamts  
Im Auftrag

*Weber*

Aktenzeichen: 196 45 362.3

*W. Weber*

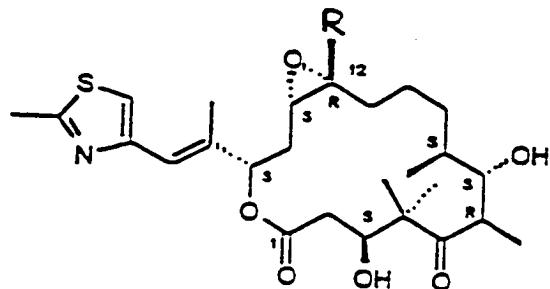
**Verfahren zur Herstellung von von Epothilon A und B  
und DERIVATE.**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren Herstellung von Epothilon A und B und Derivate und Zwischenprodukte.

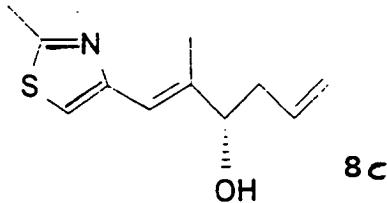
Epothilon A und B sind Naturstoffe, die durch Mikroorganismen hergestellt werden und die Taxol ähnliche Eigenschaften besitzen und somit besonderes Interesse in der Arzneimittelchemie besitzen. Diese Epothilone A und B werden innerhalb des Standes der Technik in DE 41 38 042 C2 und in European Chemistry Chronicle, Vol. 1/ No. 1 S. 7 - 10 beschrieben.

Aufgabe der vorliegenden Erfindung ist es, ein Verfahren zur Herstellung von Epothilon A und B bereitzustellen, das es erlaubt, die Naturstoffe totalsynthetisch herzustellen und die Struktur in der üblichen Art und Weise zu variieren, um Verbindungen mit stärkeren bzw. nebenwirkungsärmeren Eigenschaften herstellen zu können.

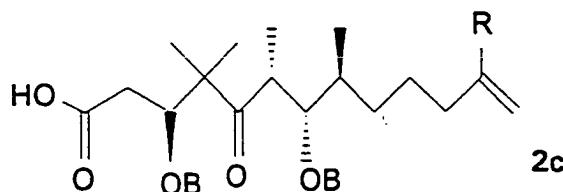
Die Erfindung betrifft ein Verfahren zur Herstellung von Epitholon A oder B



worin **R**=Wasserstoff (A) oder eine Methylgruppe (B) bedeuten, durch Umsetzung eines Thiazolalkyldien-alkohol-derivat der Formel 8c



mit einer Carbonsäure der allgemeinen Formel 2c



worin **B** = Benzyl-, Tetrahydropyranyl- und/oder eine Silylschutzgruppe(n) und  
**R** = Wasserstoff oder Methyl  
bedeuten,

verestert wird, der erhaltene Ester mittels einer Olefinmetathese in Gegenwart eines Edelmetallkatalysators ringgeschlossen und die neu entstandene Doppelbindung epoxidiert wird und die Hydroxylschutzgruppen gespalten werden.

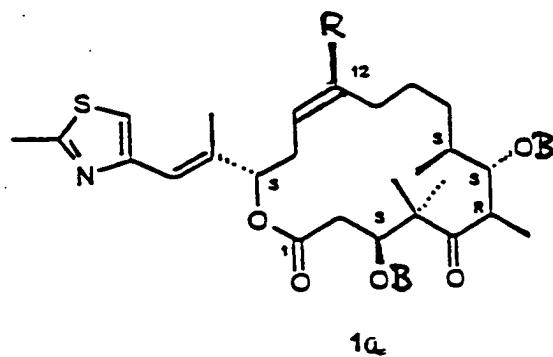
Als Silylschutzgruppen **B** eignen sich in der Regel alle unterschiedlichen Trialkyl- oder Diaryl-alkyl-silylschutzgruppen, insbesondere die tert.-Butyl-dimethyl-, Trimethylsilyl- und Diphenyl-tert.-butyl-silylgruppen.

Die Dervate **8a** und **9** werden verestert, vorzugsweise durch Anwendung von DCCI/DMAP und der so erhaltene Ester mit den zwei endständigen Alkengruppen wird durch Olefinmetathese, vorzugsweise durch Anwendung von  $\text{RuCl}_2(=\text{CHPh})(\text{PCy}_3)_2$  (Grubbs-Katalysator) ringgeschlossen (J. Org. Chem. 1996, 61, 3942 - 3943; Tetrahedron 1996, 52, 7251 - 7264; J. Am. Chem. Soc., 1995, 117, 12364 - 12365; J. Am. Chem. Soc., 1995, 117, 2943 - 2944 und Tetrahedron Lett.; 1994, 35, 3191 - 3194, J. Am. Chem. Soc., 1996, 118, 6634 - 6640 und J. Am. Chem. Soc., 1995, 118, 100 - 110.

Die Epoxidierung der neu entstandenen Doppelbindung erfolgt vorzugsweise mittels Persäure, z. B. Perchlorsäuresäure, oder Peroxid, z. B. Cumolhydroperoxid.

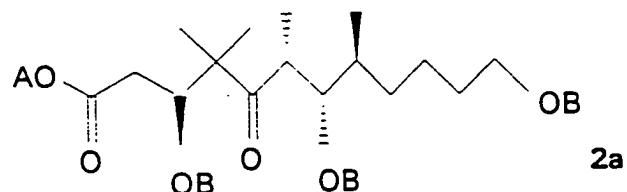
Die anschließende Abspaltung der Schutzgruppen erfolgt beispielsweise mittel Fluorid (für die Silylschutzgruppen), Hydrgenolytisch (für Benzyl) oder durch Spaltung im schwach sauren Medium (Terahydropyranyl-ether).

Weiter beinhaltet die Erfindung Zwischenprodukte der Herstellung gemäß allgemeiner Formel 1a



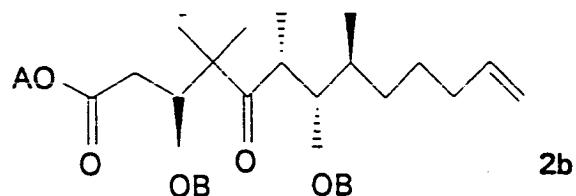
worin **B** = Benzyl-, Tetrahydropyranyl- und/oder eine Silylschutzgruppe(n) und **R** = Wasserstoff oder Methyl bedeuten.

Die Erfindung beinhaltet Verbindungen der allgemeinen Formel 2a



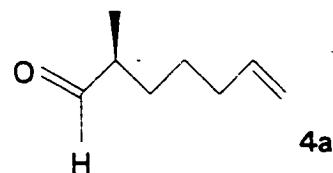
worin **A** = Wasserstoff oder eine niedrige Alkylgruppe (Methyl, Ethyl, Propyl, Iso-Propyl, Butyl-, iso- und ter. Butyl) und **B** = Wasserstoff, Benzyl-, Tetrahydropyranyl- oder eine Silylschutzgruppe (beispielsweise Trimethyl-, tert.-Butyldimethyl-, Diphenyl-tert.-butyl-silyl) bedeutet.

Weiter beinhaltet die Erfindungen Verbindungen der allgemeinen Formel 2b

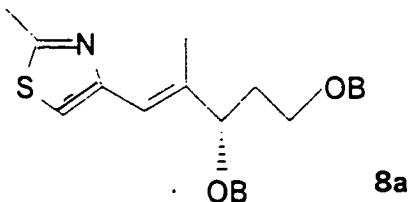


worin A=Wasserstoff oder eine niedrige Alkylgruppe (C<sub>1</sub>-C<sub>4</sub>) und B=Wasserstoff, Benzyl-, Tetrahydropyranyl- oder eine Silylschutzgruppe bedeutet. Die Bedeutung von B im Molekül kann unterschiedlich sein kann.

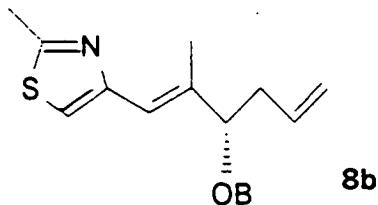
Weiter beinhaltet die Erfindung 2-Methyl-6-heptenal 4a



und Verbindungen der allgemeinen Formel 8a

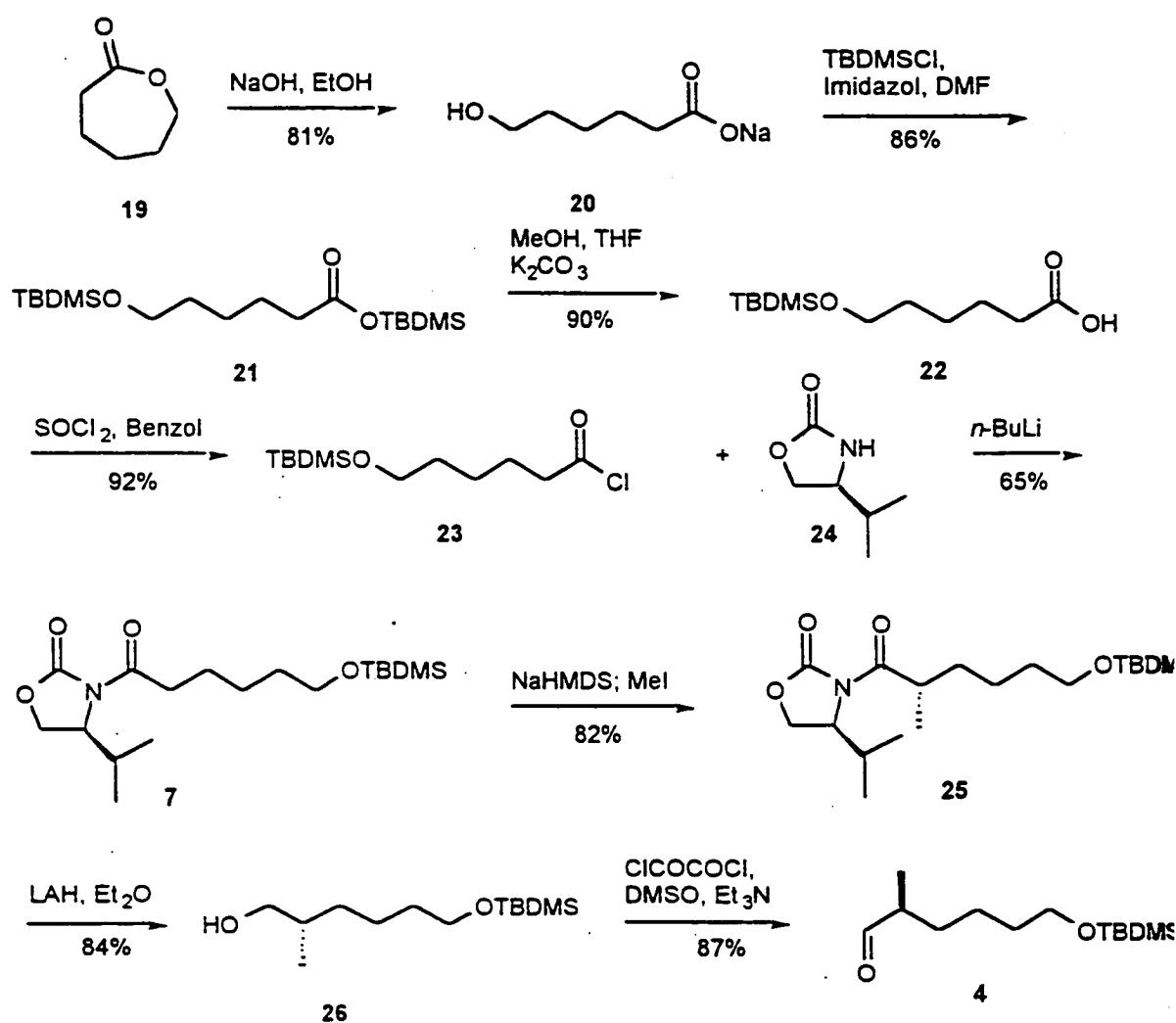
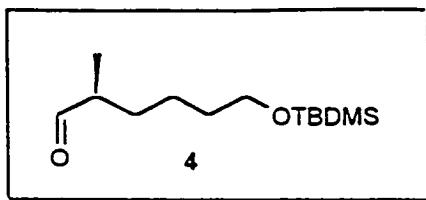


worin B=Wasserstoff, Benzyl-, Tetrahydropyranyl- oder eine Silylschutzgruppe bedeutet und die Bedeutung von B im Molekül ebenfalls unterschiedlich sein können und Verbindungen der allgemeinen Formel 8b



worin B=Wasserstoff, Benzyl-, Tetrahydropyranyl- oder eine Silylschutzgruppe bedeutet und die Bedeutung von B im Molekül unterschiedlich sein kann. weiter werden die Stereoisomere der Verbindungen umfaßt.

## Synthese von Segment 4:



### Arbeitsvorschriften zur Darstellung von Segment 4:

Das Natrium-6-hydroxyhexanoat **20** wird nach einer Vorschrift von Wulff, Krüger und Röhle *Chem. Ber.* **1971**, *104*, 1387-1399 [6] aus  $\omega$ -Caprolacton **19** hergestellt.

#### Darstellung von 6-[(*tert*-Butyldimethylsilyl)oxy]-hexansäuresilylester **21** [7]

Eine Mischung aus 2.00 g (12.97 mmol) des Salzes **20**, 25 ml DMF, 5.87 g (38.93 mmol, 3 equiv) TBDMSCl und 5.3 g (77.85 mmol, 6 equiv) Imidazol wird 48 Stunden bei RT gerührt. Das Reaktionsgemisch wird flashfiltriert und anschließend mit Pentan:DE = 4:1 säulen-chromatographisch gereinigt. Man erhält 3.99 g (11.1 mmol) der bissilylierten Verbindung **21**, entsprechend einer Ausbeute von 85 %.

Allgemeine Daten:  $C_{18}H_{40}O_3Si_2$ , FG = 360.69 g/mol

$^{13}C$ -NMR (100 MHz,  $CDCl_3$ ): 174.17 (s), 63.00 (t), 36.02 (t), 32.53 (t), 25.95 (q), 25.55 (q), 25.40 (t), 24.91 (t), 18.33 (s), 17.57 (s), -4.83 (q), -5.32 (q)

#### Darstellung von 6-[(*tert*-Butyldimethylsilyl)oxy]-hexansäure **22**

nach D.R. Morton, J.L. Thompson, *J. Org. Chem.* **1978**, *43*, 2102-2106 [8]

Eine Lösung von 3.25 g (9.02 mmol) der bissilylierten Verbindung **21** in 130 ml Methanol und 44 ml THF wird mit einer Lösung von 4.4 g (31.8 mmol, 3.5 equiv)  $K_2CO_3$  in 44 ml  $H_2O$  versetzt und 1 h bei RT gerührt. Danach wird das Volumen der Reaktionslösung im Vakuum auf ein Viertel reduziert. Man verdünnt mit 130 ml ges. NaCl-Lösung und stellt mit 1 M  $KHSO_4$ -Lösung auf pH 4-5 ein. Es wird mit Diethylether extrahiert. Die vereinigten organischen Phasen werden über  $MgSO_4$  getrocknet und das Lösungsmittel am Rotationsverdampfer abdestilliert. Man erhält 2.01 g (8.17 mmol) der Carbonsäure **22**, entsprechend einer Ausbeute von 90 %.

Allgemeine Daten:  $C_{12}H_{26}O_3Si$ , FG = 246.42 g/mol

$^{13}C$ -NMR (100 MHz,  $CDCl_3$ ): 180.09 (s), 62.90 (t), 34.05 (t), 32.37 (t), 25.93 (q), 25.31 (t), 24.46 (t), 18.32 (s), -5.33 (q)

**Darstellung von 6-[(*tert*-Butyldimethylsilyl)oxy]-hexanoylchlorid 23**

J. Tanaka, *Bull. Chem. Jpn.* **1992**, 65, 2851-2853 [9]

Eine Lösung von 0.5 g (2.03 mmol) Carbonsäure in 4 ml Benzol wird mit 362 mg (3.04 mmol, 1.5 equiv)  $\text{SOCl}_2$  versetzt und 2 h unter Rückfluß erhitzt. Man läßt abkühlen und destilliert das Lösungsmittel am Rotationsverdampfer ab. Um das überschüssige  $\text{SOCl}_2$  aus der Reaktionsmischung zu entfernen, wird der Rückstand wieder mit Benzol versetzt und erneut abdestilliert. Man erhält 494 mg (1.865 mmol, 92%) des Säurechlorids 23. Dieses Rohprodukt wird ohne Aufreinigung und Charakterisierung weiter umgesetzt.

**Darstellung von 3-[6-[(*tert*-Butyldimethylsilyl)oxy]-hexanoyl]-4-isopropyl-**

**oxazolidin-2-on 7**, A. Gonzalez, *Synth. Comm.* **1991**, 21, 1353-1360 [10]

Eine Lösung von 755 mg (5.845 mmol) (4S)-4-(1-Methylethyl)-2-oxazolidinon 24 in 8 ml THF wird auf -78 °C gekühlt und tropfenweise mit 4.0 ml (6.43 mmol, 1.1 equiv) einer n-BuLi-Lösung (1.6 M in Hexan) versetzt. Anschließend wird bei -78 °C innerhalb von 2 Minuten eine Lösung von 1.703 g (6.43 mmol, 1.1 equiv) Säurechlorid 23 in 7 ml THF zugegeben. Man läßt auf RT erwärmen und versetzt mit 11 ml einer 1 M wäßrigen  $\text{K}_2\text{CO}_3$ -Lösung und läßt 15 Minuten röhren. Es wird mit  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  extrahiert, über  $\text{MgSO}_4$  getrocknet und das Lösungsmittel am Rotationsverdampfer abdestilliert. Der Rückstand wird säulen-chromatographisch mit Pentan:DE = 1:1 gereinigt. Man erhält 1.352 g (3.78 mmol) der Verbindung 7, entsprechend einer Ausbeute von 65 %.

**Allgemeine Daten:**  $\text{C}_{18}\text{H}_{35}\text{NO}_4\text{Si}$ , FG = 357.56 g/mol

**$^{13}\text{C-NMR}$  (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ ):** 173.22 (s), 154.02 (s), 63.26 (t), 62.94 (t), 58.32 (d), 35.47 (t), 32.52 (t), 28.32 (d), 25.92 (q), 25.36 (t), 24.18 (t), 18.29 (s); 17.92 (q), 14.61 (q), -5.34 (q)

**Darstellung von 3-[6-[(*tert*-Butyldimethylsilyl)oxy]-2-methyl-hexanoyl]-4-isopropyl-oxazolidin-2-on 25**

D.A. Evans, A.E. Weber *J. Am. Chem. Soc.* **1986**, *108*, 6757-6761 [11]

Es werden 1.231 ml (1.231 mmol, 1.1 equiv) einer 1 M Lösung von NaHMDS in THF auf -78°C gekühlt und tropfenweise mit einer auf 0°C gekühlten Lösung von 400 mg (1.119 mmol) Oxazolidinon 7 in 3.5 ml THF versetzt. Man lässt 30 Minuten bei -78 °C röhren, addiert 793 mg (5.593 mmol, 5 equiv) MeI gelöst in 2 ml THF und lässt für 4 h bei -78°C röhren. Anschließend wird mit ges. NH<sub>4</sub>Cl-Lösung gequencht, mit Diethylether extrahiert, über MgSO<sub>4</sub> getrocknet und eingeengt. Der Rückstand wird säulenchromatographisch mit Pentan:DE = 2:1 gereinigt, wobei das in geringem Maße entstandene unerwünschte Diastereomer leicht abgetrennt werden kann. Man erhält 328 mg (0.917 mmol) des methylierten Produkts **25**, entsprechend einer Ausbeute von 82 %.

**Allgemeine Daten:** C<sub>19</sub>H<sub>37</sub>NO<sub>4</sub>Si, FG = 371.59 g/mol

**13**C-NMR (100 MHz, CDCl<sub>3</sub>): 177.13 (s), 153.60 (s), 63.13 (t), 62.95 (t), 58.38 (d), 37.63 (d), 32.83 (t), 32.78 (t), 28.37 (d), 25.92 (q), 23.50 (t), 18.29 (s), 17.89 (q), 17.76 (q), 14.63 (q), -5.33 (q)

**Darstellung von 6-[(*tert*-Butyldimethylsilyl)oxy]-2-methyl-hexan-1ol 26**

D.A. Evans, A.E. Weber *J. Am. Chem. Soc.* **1986**, *108*, 6757-6761 [11]

Zu einer auf 0°C gekühlten Lösung von 168 mg (0.452 mmol) der Verbindung **25** in 3 ml Diethylether wird über einen Zeitraum von 40 Minuten mit Hilfe einer Dosierpumpe 452 µl (0.452 mmol, 1 equiv) einer 1 M Lösung von LAH in Diethylether zugegeben. Falls sich DC-chromatographisch noch Edukt nachweisen lässt, wird weitere LAH-Lösung zugetropft bis die Umsetzung vollständig ist. Es wird gequencht durch die Zugabe von 17 µl Wasser, 17 µl 15%iger wässriger NaOH-Lösung und 52 µl Wasser. Anschließend wird über grobes Kieselgel mit Diethylether flashfiltriert und säulenchromatographisch mit Pentan:DE = 1:1 gereinigt. Man erhält 94 mg (0.381 mmol) des Alkohols **26**, entsprechend einer Ausbeute von 84 %.

**Allgemeine Daten:** C<sub>13</sub>H<sub>30</sub>O<sub>2</sub>Si, FG = 246.46 g/mol

**13**C-NMR (100 MHz, CDCl<sub>3</sub>): 68.25 (t), 63.12 (t), 35.72 (d), 33.03 (t), 32.84 (t), 25.94 (q), 23.13 (t), 18.34 (s), 16.51 (q), -5.29 (q)

**Darstellung von 6-[(*tert*-Butyldimethylsilyl)oxy]-2-methyl-hexanal 4**

D.A. Evans, A.E. Weber *J. Am. Chem. Soc.* **1986**, *108*, 6757-6761 [11]

Eine Lösung aus 64 mg (0.505 mmol, 1.4 equiv) Oxalylchlorid in 2 ml  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  wird auf -78 °C gekühlt und 79 mg (1.011 mmol, 12.8 equiv) DMSO addiert.

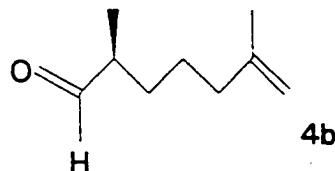
Nach 5 Minuten wird eine Lösung aus 89 mg (0.361 mmol) des Alkohols **26** in 1 ml  $\text{CH}_2\text{Cl}_2$  zugetropft. Man lässt 30 Minuten bei -78 °C röhren und addiert dann 161 mg (1.589 mmol, 4.4 equiv)  $\text{NEt}_3$ . Man ersetzt das -78 °C-Kältebad durch ein -30 °C-Bad und lässt eine weitere Stunde röhren. Anschließend wird mit 5.2 ml Pentan verdünnt, mit 3.4 ml einer 1 M wässrigen  $\text{NaHSO}_4$ -Lösung und 3 mal mit je 3.4 ml Wasser gewaschen, über  $\text{MgSO}_4$  getrocknet und eingeengt. Der Rückstand wird mit Pentan:DE = 2:1 säulenchromatographisch gereinigt. Man erhält 77 mg (0.315 mmol) des Aldehyds **4**, entsprechend einer Ausbeute von 87 %.

**Allgemeine Daten:**  $\text{C}_{13}\text{H}_{28}\text{O}_2\text{Si}$ , FG = 244.45 g/mol

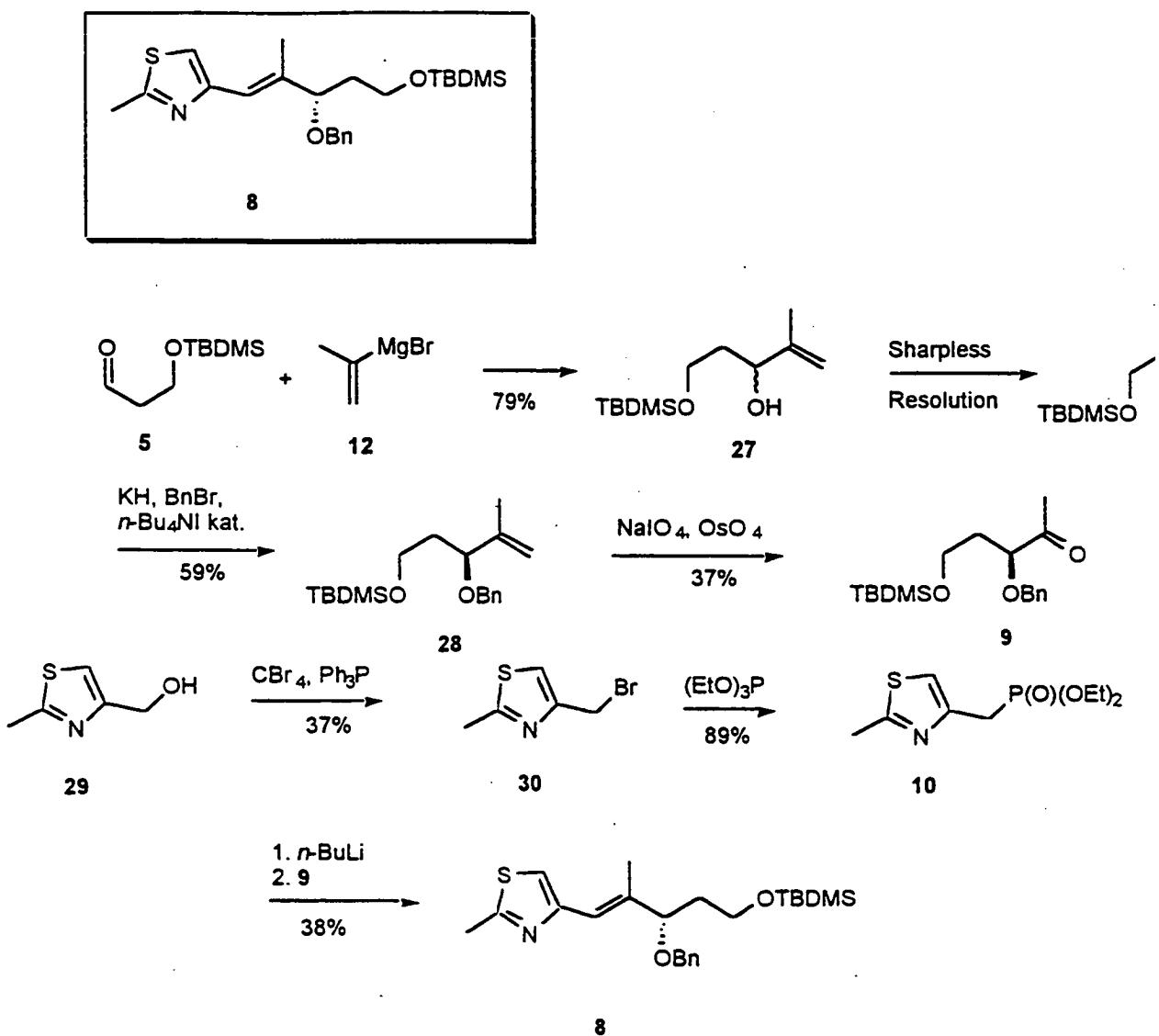
**$^{13}\text{C-NMR}$  (100 MHz,  $\text{CDCl}_3$ ):** 205.24 (d), 62.81 (t), 46.30 (d), 32.73 (t), 30.25 (t), 25.93 (q), 23.25 (t), 18.33 (s), 13.25 (q), -5.32 (q)

Die Herstellung von 2-Methyl-6-heptenal **4a** erfolgt aus der käuflichen 6-Heptensäure; es wird analog der Herstellung von **23** das entsprechende Säurechlorid synthetisiert und dann über die beschriebenen Stufen **7** (Oxazolidinon), **25** (Methylierung), **26** (Reduktion mit LAH) und **4** (Oxalylchlorid-Oxidation zum Aldehyd) das 2-Methyl-6-heptenal **4a** erhalten.

Aus der 6-Methyl-6-heptensäure erfolgt über die gleiche Synthesesequenz die Herstellung von 2,6-Dimethyl-6-heptenal **4b**.



## Synthese von Segment 8:



## Arbeitsvorschriften zur Synthese von Segment 8:

3-[(*t*-Butyldimethylsilyl)oxy]-propanal 5

Synthese durch Monosilylierung von 1,3-Propandiol und anschließende Swern-Oxidation des entstandenen 3-[(*t*-Butyldimethylsilyl)oxy]-1-propanols.

Allgemeine Daten: C<sub>9</sub>H<sub>20</sub>O<sub>2</sub>Si; FG=188.36; CAS-Nr. [89922-82-7]

<sup>13</sup>C-NMR (100 MHz, CDCl<sub>3</sub>): δ=202.05 (d), 57.42 (t), 46.58 (t), 25.82 (q), 18.23 (s), -5.43 (q)

**1-[(*t*-Butyldimethylsilyl)oxy]-3-hydroxy-4-methyl-4-penten 27**

Zu 443 mg Mg-Drehspänen (18.2 mmol) und 1.5 ml abs. THF unter  $N_2$  werden 0.2 ml 2-Brompropen gegeben, so daß die Reaktion anspringt. Es wird unter gelegentlicher Kühlung eine Lösung von 1.7 ml 2-Brompropen (insgesamt 22 mmol) in 6 ml abs. THF langsam zugetropft, bis alle Mg-Späne gelöst sind. Zu der noch warmen Mischung wird eine Lösung von 2.862 g 1 (15.2 mmol) in 6 ml abs. THF getropft. Es wird 6 h bei RT gerührt. Danach gibt man 25 ml ges.  $NH_4Cl$ -Lsg. zu der Reaktionslösung und läßt 10 Min. röhren. Die Mischung wird in 30 ml ges.  $NH_4Cl$ -Lsg. gegossen und zweimal mit Ether extrahiert. Die vereinigten org. Phasen werden je einmal mit ges.  $NH_4Cl$ -Lsg. und ges.  $NaCl$ -Lsg. gewaschen. Man trocknet über  $MgSO_4$ , engt im Vakuum ein und reinigt flashchromatographisch (Ether:Penan = 1:6).

Man erhält 2.749 g 2 (11.9 mmol; 79% d. Th.) als farbloses Öl.

**Allgemeine Daten:**  $C_{12}H_{26}O_2Si$ ; FG=230.43

$^{13}C$ -NMR (100 MHz,  $CDCl_3$ ):  $\delta$ =147.10 (s), 110.39 (t), 75.21 (d), 62.17 (t), 36.79 (t), 25.89 (q), 18.41 (s), -5.49 (q), -5.53 (q)

**(S)-1-[(*t*-Butyldimethylsilyl)oxy]-3-hydroxy-4-methyl-4-penten 11**

Man löst 600 mg 2 (2.60 mmol) und 91.5 mg (-)-Diisopropyltartrat (0.391 mmol) unter  $N_2$  in 10.4 ml abs.  $CH_2Cl_2$  und versetzt mit 180 mg gepulvertem, frisch aktiviertem Molsieb 4 Å. Als interner Standard für die GC werden 100 ml *n*-Decan dazugegeben. Man kühlt auf -20 °C ab und gibt unter Röhren 74 mg Titan(IV)-isopropylat (0.260 mmol) dazu. Nach 30 Min. wird ein aliquoter Teil von etwa 4 Tropfen entnommen und bei 0 °C mit einer Mischung von je etwa 0.15 ml Ether und Eisen(II)-sulfat-Zitronensäure-Lösung (s. unten) aufgearbeitet. Die org. Phase dient als  $t_0$ -Probe für die GC. Man gibt 610 ml einer ca. 3 M-Lösung von *t*-Butylhydroperoxid in Isooctan (1.82 mmol) dazu. Die Reaktionsmischung wird im Kühlschrank bei -22 °C aufbewahrt. Ein- bis zweimal täglich werden Proben entnommen und wie oben aufgearbeitet. Die jeweilige Konzentration von 11 wird gaschromatographisch bestimmt.

Nach 118 h wird die Reaktion bei etwa 50%-iger Umsetzung von 27 abgebrochen. Bei -20 °C wird eine frisch angesetzte, auf 0 °C gekühlte Lösung von 3.3 g Eisen(II)-sulfat-heptahydrat und 1.1 g Zitronensäuremonohydrat in 10 ml dest. Wasser dazugegeben. Nach 20 Min. kräftigem Röhren ohne weitere Kühlung wird die Mischung dreimal mit  $CH_2Cl_2$  extrahiert. Die ges. org. Phasen werden auf ca. 10 ml eingeengt und bei 0 °C 30 Min. lang mit 3 ml  $NaOH$ -Lsg. (30% in ges.  $NaCl$ -Lsg) gerührt. Es wird wiederum dreimal mit  $CH_2Cl_2$  extrahiert, und die vereinigten org. Phasen werden mit ges.  $NaCl$ -Lsg. gewaschen, über  $MgSO_4$  getrocknet und

eingeengt. Flashchromatographische Reinigung (Ether:Pentan = 1:6) liefert 274 mg **11** (1.19 mmol; 46% des Eduktes) als farbloses Öl.

**Allgemeine Daten:** C<sub>12</sub>H<sub>26</sub>O<sub>2</sub>Si; FG=230.43

(c=1, CHCl<sub>3</sub>), [a]<sub>D</sub> = - 4.6°; ee = 90% (berechnet durch Integration der olefinischen <sup>1</sup>H-NMR-Signale sowie des <sup>1</sup>H-NMR-Signals der C-4-Methylprotonen der diastereomeren Reaktionsprodukte von **11** mit S(+)-a-Methoxy-a-trifluor- methyl-phenylessigsäurechlorid, S(+)-MTPA-Cl)

Die absolute Konfiguration des überwiegenden Enantiomers wurde nach der Methode von MOSHER durch Vergleich der <sup>1</sup>H-NMR-Spektren der Reaktionsprodukte von **11** mit S(+)-MTPA-Cl bzw. R(-)-MTPA-Cl bestimmt.

**(S)-3-Benzylxy-1-[(*t*-butyldimethylsilyl)oxy]-4-methyl-4-penten **28****

70 mg einer Suspension von 35% Kaliumhydrid in Mineralöl (0.609 mmol) werden unter N<sub>2</sub> mit 0.5 ml abs. THF versetzt und auf 0 °C gekühlt. Man gibt 1.5 ml Benzylbromid (12.6 mmol) dazu. Unter Rühren wird eine Lsg. von 117 mg **11** (0.508 mmol) und 3 mg Tetra-*n*-butylammoniumiodid (8 mmol) in 1 ml abs. THF dazugetropft. Nach 15 Min. lässt man auf RT erwärmen. Es wird 19 h gerührt, danach werden 8 ml ges. NH<sub>4</sub>Cl-Lsg. eingespritzt. Die Mischung wird zweimal mit Ether extrahiert, die vereinigten org. Phasen werden zweimal mit ges. NaCl-Lsg. und einmal mit Wasser gewaschen und über MgSO<sub>4</sub> getrocknet. Nach dem Einengen am Rotationsverdampfer wird der Hauptteil des noch vorhandenen Benzylbromides bei RT im Hochvakuum abgezogen. Flashchromatographische Reinigung (Ether:Petrolether = 1: 100) liefert 96 mg **28** (0.299 mmol; 59% d.Th.) als farbloses Öl.

**Allgemeine Daten:** C<sub>19</sub>H<sub>32</sub>O<sub>2</sub>Si, FG=320.54

<sup>13</sup>C-NMR (100 MHz, CDCl<sub>3</sub>): d=144.70 (s), 138.87 (s), 128.33 (d), 127.78 (d), 127.40 (d), 113.54 (t), 80.03 (d), 70.07 (t), 59.71 (t), 37.18 (t), 25.97 (q), 18.30 (s), 16.75 (q), -5.28 (q), -5.31 (q)

**(S)-3-Benzylxy-5-[(*t*-butyldimethylsilyl)oxy]-2-pentanon 9**

Zu einer Mischung aus 1.5 ml THF und 1.5 ml Wasser werden 38 mg **28** (118 mmol) gegeben. 48 mg einer Lsg. von 2.5% OsO<sub>4</sub> in *t*-Butanol (4.7 mmol) werden mit 0.5 ml THF gemischt und dazugetropft. Es wird 5 Min. gerührt; dann werden 127 mg NaIO<sub>4</sub> (590 mmol) dazugegeben. Nach 12 h kräftigem Rühren bei RT wird die Reaktionsmischung in 20 ml Ether gegossen und mit 5 ml Wasser verdünnt. Man extrahiert zweimal mit Ether, trocknet die vereinigten org. Phasen über MgSO<sub>4</sub> und engt ein. Flashchromatographische Reinigung (Ether:Pentan = 1:4) liefert 14 mg **5** (43.4 mmol; 37% d.Th.) als graubraunes Öl.

**Allgemeine Daten:** C<sub>18</sub>H<sub>30</sub>O<sub>3</sub>Si; FG=322.53

<sup>13</sup>C-NMR (100 MHz, CDCl<sub>3</sub>): d=211.00 (s), 137.67 (s), 128.51 (d), 127.94 (d), 127.90 (d), 82.00 (d), 72.59 (t), 58.68 (t), 35.23 (t), 25.94 (q), 25.68 (q), 18.30 (s), -5.38 (q), -5.43 (q)

**4-Hydroxymethyl-2-methylthiazol 29**

Die Verbindung **29** wird durch Ringschluß von *L*-Cystein-methylester-hydrochlorid mit Acetaldehyd, anschließender Dehydrierung über MnO<sub>2</sub> und Reduktion der Methylestergruppe durch LAH hergestellt.

**Allgemeine Daten:** C<sub>5</sub>H<sub>7</sub>NOS; FG=129.19; CAS-Nr. [76632-23-0]

<sup>13</sup>C-NMR (50 MHz, CDCl<sub>3</sub>): d=167 (s), 156.0 (s), 114.4 (d), 60.5 (t), 19.0 (q)

**4-Brommethyl-2-methylthiazol 30**

Man löst 60 mg **29** (0.464 mmol) in 1 ml abs. Ether und gibt unter Rühren 47 mg Triphenylphosphin (0.511 mmol) und 169 mg Tetrabrommethan (0.511 mmol) dazu. Nach 16 h Rühren (RT) wird der Niederschlag abfiltriert und mit Ether gewaschen. Das Filtrat wird eingeengt und flashchromato-graphisch gereinigt (Ether:Pentan = 1:5). Man erhält 33 mg **30** (0.172 mmol; 37% d.Th.) als helles bräunliches Öl.

**Allgemeine Daten:** C<sub>5</sub>H<sub>6</sub>BrNS; FG=192.08

<sup>13</sup>C-NMR (100 MHz, CDCl<sub>3</sub>): d=166.91 (s), 151.63 (s), 117.25 (d), 27.11 (t), 19.25 (q)

## Verbindung 10

150 mg 1 (0.78 mmol) und 300 ml Triethylphosphit (1.75 mmol) werden 1.5 h lang auf 160°C erhitzt. Nach dem Abkühlen wird das überschüssige Triethylphosphit im Vakuum abdestilliert. Flashchromatographische Reinigung (Ether/Methanol = 19:1) liefert 173 mg 2 (89 % d. Th.) als schwach gelbliches Öl.

<sup>13</sup>C-NMR (100 MHz, CDCl<sub>3</sub>): δ = 165.44 (s), 145.96 (ds, <sup>2</sup>J(C,P)=8.2 Hz), 115.67 (dd, <sup>3</sup>J(C,P)=7.4 Hz), 62.19 (dt, 2 C, <sup>2</sup>J(C,P)=6.4 Hz), 29.35 (dt, <sup>1</sup>J(C,P)=141 Hz), 19.05 (q), 16.35 (dq, 2 C, <sup>3</sup>J(C,P)=6.0 Hz)

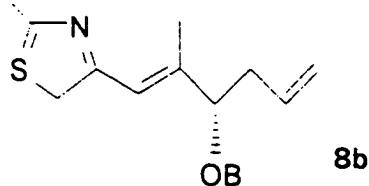
(Anmerkung: Bei den zweifachen Angaben zur Signalmultiplizität bezieht sich das führende Zeichen auf die im Spektrum sichtbare durch C,P-Kopplung verursachte Multiplizität und das folgende Zeichen auf die durch C,H-Kopplung verursachte, im Standardspektrum unsichtbare Multiplizität.)

## Verbindung 8

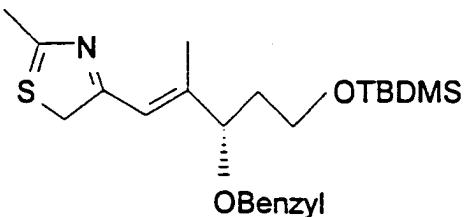
Unter N<sub>2</sub> werden 33 mg 2 (132 mmol) in 2 ml abs. THF gelöst und auf -78 °C gekühlt. Man tropft 78 ml *n*-BuLi-Lsg. (15 % in Hexan; 125 mmol) dazu und lässt 45 Min. röhren. Anschließend wird bei -78 °C eine Lösung von 35 mg Methylketon 9 (109 mmol) in 1 ml abs. THF dazugegeben. Nach langsamer Erwärmung auf RT lässt man noch 40 h röhren und gibt dann 10 ml ges. NH<sub>4</sub>Cl-Lsg. zu der Reaktionsmischung. Es wird dreimal mit je 15 ml Ether extrahiert. Die vereinigten org. Phasen werden zweimal mit wenig Wasser und einmal mit ges. NaCl-Lsg. gewaschen. Nach dem Trocknen über MgSO<sub>4</sub> wird das Lösungsmittel am Rotationsverdampfer abdestilliert. Flashchromatographische Reinigung (Pentan/Dichlormethan = 1:1, dann 1:2) liefert 17 mg 4 (38 % d. Th.) als farbloses Öl.

<sup>13</sup>C-NMR (100 MHz, CDCl<sub>3</sub>): δ = 164.4 (s), 152.90 (s), 139.74 (s), 138.84 (s), 128.33 (d, 2 C), 127.77 (d, 2 C), 127.41 (d), 121.33 (d), 115.67 (d), 82.00 (d), 70.30 (t), 59.69 (t), 37.58 (t), 25.98 (q, 3 C), 19.26 (q), 18.30 (s), 13.44 (q), -5.25 (q), -5.31 (q)

## Die Darstellung von 8b



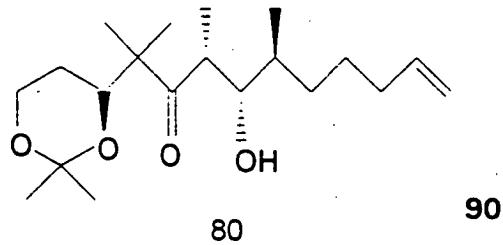
erfolgt aus



wobei der TBDMS-Ether mit Fluorid gespalten wird, der primäre Alkohol mittels Dess.-Martin-Oxidatin (Perjodat) in den Aldehyd und dieser mit dem Methylen-Wittig-Reagenz ( $\text{Ph}_3 = \text{CH}_2$ ) in die Verbindung **8b** überführt wird. Die Schutzgruppe Benzyl ist beliebig gegen andere gängige Hydroxyl-Schutzgruppen austauschbar oder in den freien Alkohol **8b** überführbar.

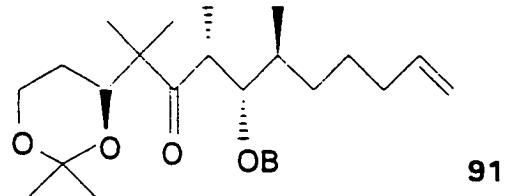
**Darstellung von (4S,6S)-2-(2,2-dimethyl-[1,3] dioxan-4-yl)-5-hydroxy-2,4,6-trimethyl-undecan-3-on 91**

Zu einer Lösung von 23 mg Diisopropylamin (0.227 mmol, 1eq.) in 1 ml THF werden bei 0°C 142 µl (0.227 mmol, 1 eq.) einer 1.6 M Lösung von n-BuLi in Hexan zugetropft und 30 Minuten bei 0°C gerührt, bevor dann auf -78°C heruntergekühlt wird. Nun werden 49 mg (0.227 mmol, 1 eq.) (S)-2-(2,2-dimethyl-[1,3] dioxan-4-yl)-2-methyl-pentan-3-on 3 (siehe DE 196 36 343.8), gelöst in 1 ml THF langsam zugetropft. Die Lösung wird 35 Minuten bei -78°C gerührt. Anschließend werden 55 mg (0.224 mmol, 0.99 eq.) 2-Methyl-heptanal 4a (analog erfolgt hier die Zugabe von 2,6-Dimethyl-6-heptenal 4b, um die entsprechenden Methylderivate zu erhalten) zugetropft und 1 h bei -78°C gerührt. Die Reaktionslösung wird durch Zugabe von gesättigter NH<sub>4</sub>Cl-Lösung gequenstet und auf RT erwärmt. Die wässrige Phase wird mit Ether extrahiert, die vereinigten organischen Phasen über MgSO<sub>4</sub> getrocknet und das Lösungsmittel am Rotationsverdampfer abdestilliert. Der Rückstand wird säulenchromatographisch mit Pentan:Diethylether = 2 : 1 gereinigt. Man erhält 55 mg (0.107 mmol, 52%) des Aldolprodukts als farbloses Öl.

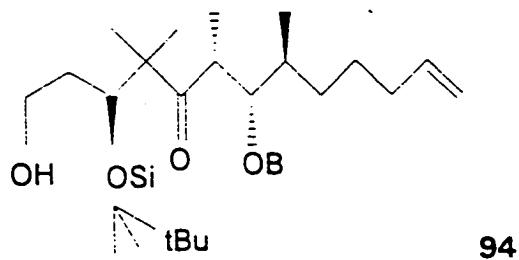
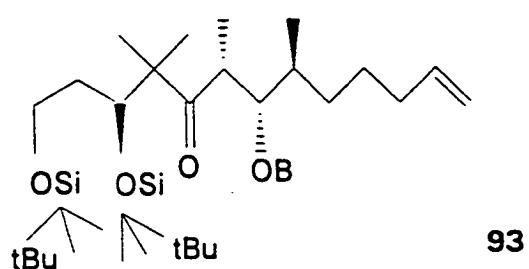
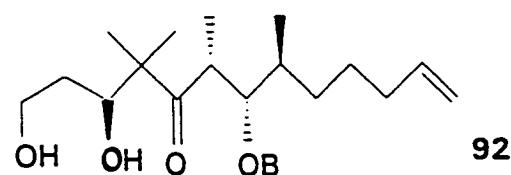



---

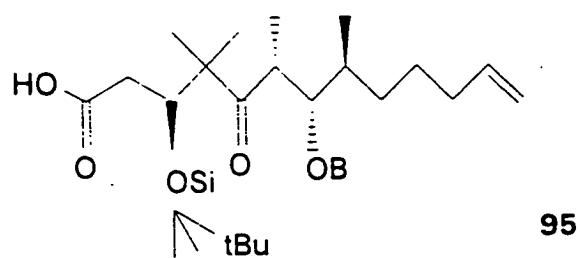
Gemäß konventioneller Methoden wird der Benzyl- oder TBDMS-Ether 91 hergestellt, es können hier auch andere Hydroxylschutzgruppen, wie bereits für B offenbart, verwendet werden.



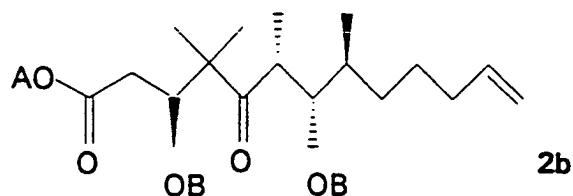
Die Stufenfolge bis 94 ist analog dem Stand der Technik, dem Fachmann also bekannt, konventionelle Schutzgruppenchemie.



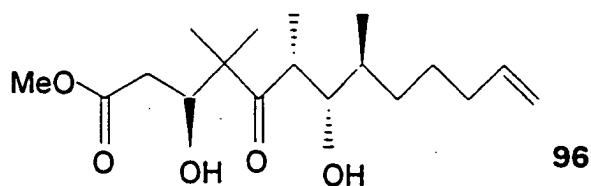
Durch Oxidation, z. B. Pyridiniumdichromat wird die Carbonsäure 95 erhalten



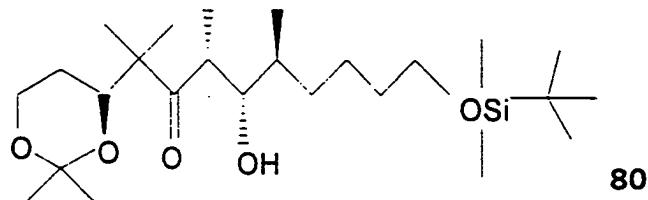
Die Veresterung zu Verbindungen der allgemeinen Formel 2b erfolgt hier beispielsweise mit DMAP/DCCI, (Angew. Chem. 90, (1978), S. 556).



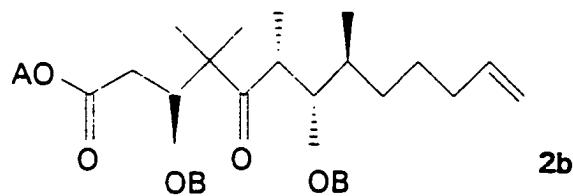
Für die Synthese ist besonders der Methylester 96 geeignet,



In analoger Weise lassen sich aus 80



wie bereits in der Stammanmeldung offenbart, die Verbindungen der allgemeinen Formel 2a

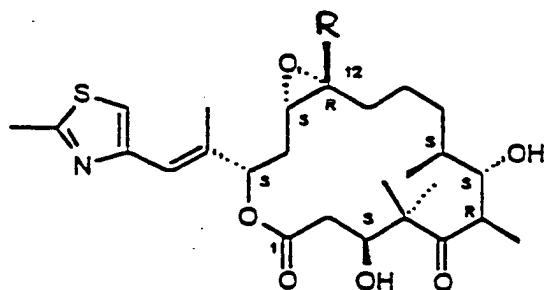


herstellen.

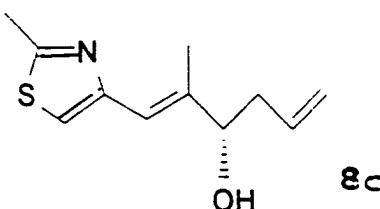
Die Erfindung betrifft auch Stereoisomere der Verbindungen gemäß Ansprüche 1 - 6, wie diese üblicherweise innerhalb der Synthese anfallen. Die Erfindung beinhaltet auch Verfahren zur Herstellung der Verbindungen gemäß Ansprüche 1 - 6

## Patentansprüche

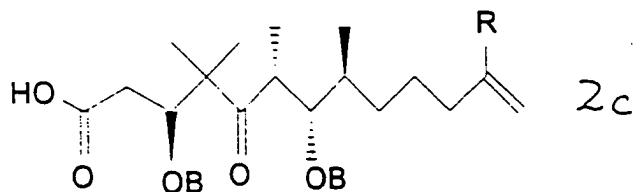
## 1.) Verfahren zur Herstellung von Epitholon A oder B



worin **R** = Wasserstoff (**A**) oder eine Methylgruppe (**B**) bedeuten,  
dadurch gekennzeichnet, daß  
ein Thiazolalkyldien-alkohol-derivat der Formel 8c



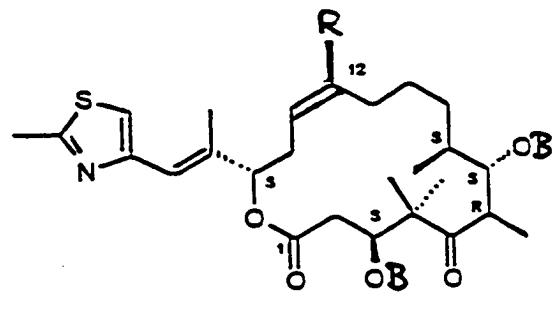
mit einer Carbonsäure der allgemeinen Formel 2c



worin **B** = Benzyl-, Tetrahydropyranyl- und/oder eine Silylschutzgruppe(n) und  
**R** = Wasserstoff oder Methyl  
bedeuten,

verestert wird, der erhaltene Ester mittels einer Olefinmetathese in Gegenwart  
eines Edelmetallkatalysators ringgeschlossen und die neu entstandene  
Doppelbindung epoxidiert wird und die Hydroxylschutzgruppen gespalten  
werden.

2.) Zwischenprodukte der Herstellung gemäß Anspruch 1 gemäß allgemeiner Formel 1a



worin **B** = Benzyl-, Tetrahydropyranyl- und/oder eine Silylschutzgruppe(n) und  
**R** = Wasserstoff oder Methyl  
bedeuten.

## **Zusammenfassung**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren Herstellung von Epothilon A und B und Derivaten und Zwischenprodukte.

Epothilon A und B sind Naturstoffe, die durch Mikroorganismen hergestellt werden können und die Taxol ähnliche Eigenschaften und somit besonderes Interesse in der Arzneimittelchemie besitzen.

Es werden Zwischenprodukte innerhalb der Totalsynthese von Epothilon A und B beschrieben.

Epothilon A und B sind Naturstoffe, die durch Mikroorganismen hergestellt werden können und die Taxol ähnliche Eigenschaften besitzen und somit besonderes Interesse in der Arzneimittelchemie besitzen.

# Note – WO 98/08849

No EP Filings  
fank Hoffman/  
james Grant/3727  
fh24

5.X.98

File 351:DERWENT WPI 1963-1998/UD=9839;UP=9836;UM=9834

(c)1998 Derwent Info Ltd

\*File 351: Effective October 1. DialUnit rates adjusted for unrounding.  
See HELP NEWS 351 for details.

Set Items Description

?e pn=WO 9808849

Ref	Items	Index-term
E1	1	PN=WO 9808847
E2	1	PN=WO 9808848
E3	1	* PN=WO 9808849
E4	1	PN=WO 9808850
E5	1	PN=WO 9808851
E6	1	PN=WO 9808852
E7	1	PN=WO 9808853
E8	1	PN=WO 9808854
E9	1	PN=WO 9808855
E10	1	PN=WO 9808856
E11	1	PN=WO 9808857
E12	1	PN=WO 9808858

Enter P or PAGE for more

?s e3

S1 1 PN="WO 9808849"

?t s1/19/1

1/19/1

DIALOG(R)File 351:DERWENT WPI

(c)1998 Derwent Info Ltd. All rts. reserv.

011776317 \*\*Image available\*\*

WPI Acc No: 98-193227/199817

Related WPI Acc No: 97-491318

XRAM Acc No: C98-061819

**Production of epothilone compounds with taxol-like activity - by total synthesis from new thiazolyl-hydroxy-alkyl-diene and protected dihydroxy-oxo-tridecanoic acid intermediates**

Patent Assignee: SCHERING AG (SCHD ); NOVARTIS AG (NOVS )

Inventor: BAUER A; BOHM O M; CORDES M; LIMBERG A; SCHINZER D; BOEHM O M

Number of Countries: 071 Number of Patents: 004

Patent Family:

Patent No	Kind	Date	Applicat No	Kind	Date	Main IPC	Week
WO 9808849	A1	19980305	WO 97DE111	A	19970115	C07D-493/04	199817 B
DE 19645361	A1	19980430	DE 1045361	A	19961028	C07C-069/738	199823
DE 19645362	A1	19980430	DE 1045362	A	19961028	C07D-493/04	199823
AU 9721493	A	19980319	AU 9721493	A	19970115	C07D-493/04	199831

Priority Applications (No Type Date): DE 1045362 A 19961028; DE 1036343 A 19960830; DE 1045361 A 19961028

Patent Details:

Patent Kind Lan Pg Filing Notes Application Patent

WO 9808849 A1 G 48

Designated States (National): AL AM AT AU AZ BB BG BR BY CA CH CN CZ DK  
EE ES FI GB GE HU IL IS JP KE KG KP KR KZ LK LR LS LT LU LV MD MG MK MN  
MW MX NO NZ PL PT RO RU SD SE SG SI SK TJ TM TR TT UA UG US UZ VN

Designated States (Regional): AT BE CH DE DK EA ES FI FR GB GR IE IT KE  
LS LU MC MW NL OA PT SD SE SZ UG

DE 19645361 A1 12 Add to DE 19636343

DE 19645362 A1 14

AU 9721493 A Based on WO 9808849

Abstract (Basic): WO 9808849 A

Production of epothilone A and B of formula (I) comprises esterification of a thiazolyl-hydroxyalkyldiene (II) with a protected 3,7-dihydroxy-5-oxo-tridecanoic acid (III) and conversion of the resulting ester into (I) by the following sequence of reactions: (a) ring closure involving olefin metathesis in the presence of a noble metal catalyst; (b) optional deprotection of protected hydroxy groups, (c) epoxidation and (d) deprotection of protected hydroxy groups as required. R = H (epothilone A) or Me (epothilone B); B = benzyl; tetrahydropyranyl; or silyl protecting group.

Also claimed are starting materials (II) and (III) and desoxy-epothilone intermediates (IV) (obtained from step (a) and optionally (b)): B1 = H; benzyl; p-methoxybenzyl; tetrahydropyranyl; or silyl protecting group.

Further claimed are

2-(2,2-dimethyl-[1,3]dioxan-4-yl)-2-methyl-pentan-3-one (V);  
2-methyl-6-heptenal (VI), 2,6-dimethyl-6-heptenal (VII) and  
(4S,6S)-2-(2,2-dimethyl-[1,3]-dioxan-4-yl)-5-hydroxy-2,4,6-trimethyl-undecan-3-one (sic) (DDHTU); used for the preparation of (III); as well as protected thiazolyl-hydroxyalkyldienes (VIII) used for the preparation of (II): B2 = benzyl; p-methoxybenzyl; tetrahydropyranyl; or silyl protecting group.

Note - The final claim appears to cover stereoisomers of all the above compounds except (DDHTU) and (VIII) [sic: the phrasing of the claims is ambiguous].

(I) are known from DE 4138042.

USE -(I) have taxol-like activity and are of potential use in cancer therapy.

Dwg.0/0

Title Terms: PRODUCE; COMPOUND; TAXOL; ACTIVE; TOTAL; SYNTHESIS; NEW; THIAZOLYL; HYDROXY; ALKYL; DIENE; PROTECT; DI; HYDROXY; OXO; ACID; INTERMEDIATE

Derwent Class: B02; B03

International Patent Class (Main): C07C-069/738; C07D-493/04

International Patent Class (Additional): C07C-047/21; C07C-049/203;

C07C-059/01; C07C-059/215; C07C-069/716; C07D-263/24; C07D-277/24;

C07D-309/06; C07D-309/12; C07D-319/06; C07D-417/06; C07F-007/18

File Segment: CPI

Manual Codes (CPI/A-N): B05-B01B; B06-A02; B07-A02; B07-A03; B07-F01; B10-C04D; B14-H01

Chemical Fragment Codes (M2):

\*01\* A544 A910 A940 A970 B515 C017 C100 C710 C720 M411 M730 M903 Q421

\*02\* D015 D016 D030 D160 F012 F014 F710 H4 H402 H422 H7 H721 H8 J5 J522

L9 L942 M1 M126 M133 M210 M211 M240 M283 M313 M321 M331 M342 M412

M511 M521 M530 M540 M720 M800 M903 M904 N209 N213 N241 N242 N262  
N282 N305 N306 N309 N313 N341 N342 N362 N441 N480 N511 N512 P633  
9817-35801-P 40014

\*03\* B614 B711 B712 B720 B743 B744 B831 B832 F012 F013 F014 F015 F016  
F017 F019 F123 F130 F199 F710 G010 G013 G019 G100 H401 H402 H421  
H422 H521 H522 H541 H542 H7 H721 J5 J522 L9 L942 M1 M126 M129 M133  
M141 M149 M210 M211 M212 M213 M214 M215 M216 M220 M221 M222 M223  
M224 M225 M226 M231 M232 M233 M240 M250 M272 M281 M282 M283 M311  
M313 M321 M322 M331 M342 M373 M391 M392 M411 M413 M510 M522 M523  
M530 M531 M532 M540 M710 M800 M903 M904 9817-35802-N 40014 00561

\*04\* B414 B514 B614 B711 B712 B720 B743 B744 B831 B832 F012 F013 F014  
F019 F123 F199 G010 G019 G100 H521 H522 H581 H582 H7 H721 J0 J011 J1  
J171 J5 J581 M210 M211 M212 M213 M214 M215 M216 M220 M221 M222 M223  
M224 M225 M226 M231 M232 M233 M250 M280 M283 M311 M315 M316 M321  
M322 M333 M342 M343 M373 M381 M391 M392 M411 M413 M414 M510 M520  
M521 M522 M530 M531 M532 M540 M710 M800 M903 M904 9817-35805-N 40014  
00561

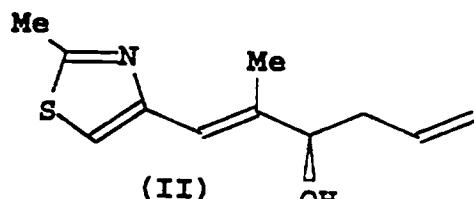
\*05\* B614 B711 B720 B743 B831 F012 F013 F014 F019 F123 F710 G010 G013  
G100 H401 H481 H521 H541 H581 H7 H722 M210 M211 M212 M213 M214 M245  
M216 M220 M221 M222 M223 M224 M225 M226 M231 M232 M233 M240 M250  
M272 M281 M283 M311 M315 M321 M333 M342 M373 M391 M392 M411 M413  
M510 M521 M522 M530 M531 M540 M710 M800 M903 M904 9817-35806-N 40014  
00561

\*06\* F012 F014 F017 F163 H401 H481 J5 J581 M210 M211 M212 M240 M262 M281  
M282 M313 M316 M321 M331 M333 M340 M342 M372 M381 M391 M413 M510  
M521 M530 M540 M710 M903 M904 9817-35803-N 40014 00561 00262

\*07\* H7 H721 J4 J471 M220 M221 M222 M232 M262 M281 M320 M416 M710 M800  
M903 M904 9817-35804-N 40014 00561 00262

Ring Index Numbers: : 40014; 00561; 00262

Generic Compound Numbers: 9817-35801-P; 9817-35802-N; 9817-35805-N;  
9817-35806-N; 9817-35803-N; 9817-35804-N



{INSERT IMAGE BMP "W0B3B13D.bmp" }

?save temp

Temp SearchSave "TD335" stored

?b 345;exs

05oct98 13:28:07 User301264 Session D786.2

File 345:Inpadoc/Fam.& Legal Stat. 1998/UD=9839

(c) 1998 European Patent Office

\*File 345: The EPO is working to correct some garbled Japanese titles.

Set Items Description

Executing TD335

>>>SET HIGHLIGHT: use ON, OFF, or 1-5 characters

S1 1 PN="WO 9808849"

?t s1/3/1